



Documentación

NTP 630: Riesgo de incendio y explosión en atmósferas sobreoxigenadas

Danger d'incendie et explosion dans atmosphères enrichies en oxygène
Fire and explosion hazards in oxygen enriched atmospheres

Redactor:

Francisco Alonso Valle
Ingeniero de Minas

CENTRO NACIONAL DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

El oxígeno es un elemento comburente, y como tal, en su presencia tiene lugar la combustión, cuyas condiciones para su iniciación y mantenimiento están determinadas por el denominado triángulo del fuego.

El oxígeno se encuentra en la atmósfera en una proporción, en volumen, del 21 %, y con dicho porcentaje, si las condiciones son adecuadas, se puede iniciar y mantener la combustión de muchos materiales. Ahora bien, a medida que la concentración de oxígeno va aumentando, la situación se vuelve más crítica, y a partir de concentraciones en el aire superiores al 25%, la mayoría de los materiales pueden arder, incluso con carácter explosivo.

Objetivo

El objetivo que se plantea es sensibilizar sobre la incidencia que la formación de atmósferas sobreoxigenadas tiene sobre el riesgo de incendio y explosión, teniendo en cuenta que el oxígeno, en forma de gas comprimido o licuado, se utiliza ampliamente en la industria y con fines medicinales.

Así mismo, trata de establecer las medidas preventivas que se deben considerar para evitar dichas atmósferas y la actuación en el caso de que se hayan producido.

Características físicas, usos, contenedores utilizados y código de colores de las botellas de oxígeno

En la **tabla 1** se indican las principales características del oxígeno, usos y recipientes utilizados para contenerlo.

Tabla 1

OXÍGENO (O ₂)
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GAS <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura crítica: -118,4º C • Presión crítica: 50,1 atm

- Equivalente líquido/gas: 1 litro de líquido se transforma en 854 litros de gas (a 15° C, 1 bar)

USOS DEL GAS:

Soldadura autógena y oxicorte, temple superficial, decapado, metalización, afino de acero y fundición, afino de metales no férreos, síntesis del ácido acético, ácido fórmico, metanol y oxidación de olefinas.

Hornos de fusión y cocción en industria cerámica y del vidrio.

Blanqueo de pasta de papel, tratamiento de aguas residuales y oxigenación en piscifactorías.

Como oxígeno puro, en microelectrónica, industria de fibra óptica, instrumentación analítica y depuración de aguas residuales.

Preparación de atmósferas respirables y oxigenoterapia, etc.

COLOR BOTELLAS:

- Cuerpo: Negro
- Ojiva: Blanco
- Franja: Blanco

CONTENEDORES UTILIZADOS:

- Gas comprimido: Botellas de 5 a 50 litros y presión de 150 a 250 kg/cm²
- Gas licuado: Recipientes criogénicos y depósitos criogénicos.

Características que definen la peligrosidad del oxígeno en el riesgo de incendio y explosión

- El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, por lo que la presencia de una atmósfera sobreoxigenada no es detectable por los sentidos, además de no producir efectos fisiológicos que puedan delatar su presencia, a la presión atmosférica.
- El oxígeno es más pesado que el aire, lo que le hace susceptible de acumularse en sótanos, fosos, salas bajo nivel, etc., en el caso de producirse vertidos o escapes.
- El oxígeno, como gas comburente, mantiene y aviva la combustión de muchos materiales cuando su concentración en el aire es del 21 %. Ahora bien, a medida que dicha concentración va aumentando, los materiales arden más intensamente, de forma que por encima del 25%, la situación se vuelve peligrosa, pudiendo alcanzar la reacción de combustión carácter explosivo.
- Los límites inferiores de inflamabilidad en atmósfera rica en oxígeno son aproximadamente iguales que en el aire ya que el contenido de oxígeno en el aire está en exceso para la combustión a la concentración del límite inferior de inflamabilidad. En cambio los límites superiores se incrementan según la expresión: $L.S.I. \cong O_2 \text{ a } L.S.I. + 70 (\log_{10} \%O_2 - 1,321)$; siendo $\%O_2$ un valor comprendido entre el 20,95 y el 100% y L.S.I. el límite superior de inflamabilidad en el aire (20,95% O_2). En consecuencia el campo de inflamabilidad se amplía considerablemente. A título de ejemplo el propano pasa de un límite superior de inflamabilidad 9,5% en aire a 55% en una atmósfera al 100% de oxígeno.
- A medida que aumenta la concentración de oxígeno, se necesita menor temperatura para iniciar la combustión, y la temperatura alcanzada por la llama es mayor, aumentando así el poder destructivo.
- En presencia de una atmósfera sobreoxigenada pueden arder, incluso energicamente si la concentración de oxígeno es la adecuada, materiales que no

arden en una atmósfera normal e incluso materiales clasificados como ignífugos.

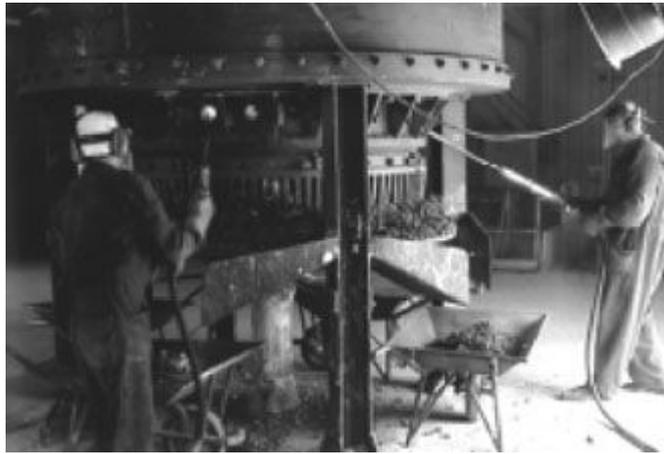
- Cuando el oxígeno se encuentra a presión, el riesgo se acrecienta, ya que la misma juega un papel importante al reducir la temperatura necesaria para la autoinflamación o autoignición y aumentar la velocidad de la reacción de combustión.
- El aceite, las grasas y en general los materiales orgánicos, son materias a considerar con especial atención en atmósferas sobreoxigenadas, debido a su tendencia a arder con carácter explosivo, aún con un ligero golpe.
- La vaporización de un litro de oxígeno-líquido, produce 854 litros de oxígeno-gas, a una temperatura de 15° C y 1 bar de presión.
- El oxígeno puede impregnar las ropas de los trabajadores sin que exista señal física de ello.
- Ante la presencia de óxido de hierro, el oxígeno líquido vuelve espontáneamente explosivos materiales como el carbón de madera. Otros materiales que pueden explotar son la madera, el papel, el cartón ondulado, los tejidos y las materias plásticas porosas.
- Entre los cuerpos extraños que aumentan la sensibilidad de explosión con oxígeno líquido hay que tener en cuenta los fragmentos de sílice.
- Como riesgo asociado, el oxígeno en estado líquido, que se mantiene a -183° C puede, en el caso de escape, producir quemaduras criogénicas y fragilizar materiales como el acero y el hormigón.

Situaciones en las que se puede presentar riesgo de incendio y explosión por atmósferas sobreoxigenadas

Se indica a continuación una serie de situaciones en las que puede aparecer dicho riesgo:

- Fugas en conducciones de oxígeno. Situación que puede ser extremadamente peligrosa, si ocurre en lugares mal ventilados, cerrados o semicerrados, fosos, zanjas, etc.
- Utilización de oxígeno en procesos metalúrgicos, como se observa en la **figura 1**. Es corriente utilizar cantidades de oxígeno superiores a la necesaria, con lo que el excedente puede enriquecer la atmósfera del lugar a niveles peligrosos.

Figura 1



- Procesos de soldadura y corte oxiacetilénico; la purga de conducciones flexibles, el retardo en el encendido de los sopletes, empleo de boquillas inadecuadas, fugas en grifos, etc., hacen posible el enriquecimiento local en oxígeno, lo que tiene particular importancia si se trata de locales cerrados o semicerrados con mala ventilación. Así mismo, las conducciones flexibles usadas en soldadura oxiacetilénica, al estar por el suelo, pueden sufrir, cortes y abrasiones que pueden dar lugar a escapes, así como caer sobre ellas chispas que produzcan quemaduras y las deterioren.
- Vertidos de oxígeno líquido: Un vertido, al evaporarse, forma una nube densa de aire enriquecido en oxígeno que puede impregnar los vestidos de las personas que se encuentren en la proximidad, y ante cualquier foco de ignición, salir ardiendo instantáneamente.

Por otra parte, si el suelo donde se ha producido el vertido, está constituido por material orgánico, como madera, asfalto, etc., la impregnación de los mismos con oxígeno, puede ocasionar una explosión por un simple golpe.

Particular importancia se debe de dar a aquellos materiales que son capaces de absorber oxígeno, como gel de sílice, tamices moleculares, etc., y que se encuentren a baja temperatura. Una vez alcanzada la temperatura ambiente, se pueden desprender importantes cantidades de oxígeno.

- Utilización de gases criogénicos a temperatura inferior a la de licuefacción del oxígeno, como nitrógeno, helio, etc., en cuyo caso se pueden producir atmósferas sobreoxigenadas al condensarse el aire ambiente sobre equipos que utilicen dichos gases, siempre que no estén aislados. Este problema se puede plantear también en aquellas tuberías que estén calorifugadas con aislamiento del tipo espuma.

El aire líquido que se forma en esas circunstancias puede llegar a contener hasta un 50% de oxígeno, y si cae en forma de gotas, puede en parte evaporarse, llegando a contener el líquido que resta, hasta un 80% de oxígeno, con el consiguiente riesgo.

- Venteos de oxígeno en instalaciones industriales que necesitan puestas al aire, pudiendo dar lugar a zonas peligrosas en los lugares donde se produce.
- Usos inadecuados del oxígeno, entre los que hay que destacar las puestas a presión y purgas con el mismo, renovación y refrigeración del aire de un espacio cerrado. Además de emplearlo para prácticas tales, como eliminar el polvo de bancos de trabajo, máquinas y vestidos, refrigeración directa de personas, etc.

- Uso inadecuado de manorreductores. Es una práctica frecuente, no poner los mismos en la posición de cerrado, cuando se interrumpe un trabajo, como por ejemplo, el de soldadura oxiacetilénica. Ello comporta, que cuando el soplete se vuelva a utilizar, el oxígeno salga a una gran velocidad. Independientemente de ello, los sopletes pueden dar lugar a escapes.
- Mal mantenimiento en el que caben infinidad de actuaciones, como son una intervención incorrecta en un sistema de oxígeno a presión, venteos en espacios cerrados o semicerrados, mala limpieza de equipos y, en particular, los equipos portátiles que utilizan oxígeno, como son los sopletes, en los que la suciedad tiene fácil acceso, mal estado de conducciones, etc.
- Utilización de materiales inadecuados. Aunque los materiales en sí no tienen ninguna influencia en la aparición de una atmósfera sobreoxigenada, su comportamiento cuando ésta está presente o están en contacto con oxígeno, sí incide en el riesgo de incendio y explosión. Téngase en cuenta que en la práctica, casi todos los materiales son combustibles con el oxígeno, sólo depende de la concentración del mismo, y con algunos, la reacción de combustión tiene carácter explosivo.
- Rotura de sistemas de oxígeno a presión, ya que la liberación puede acabar formando un chorro de oxígeno relativamente largo y se puede formar una llama en forma de antorcha.
- Manipulación de oxígeno en locales con suelos tales como asfalto, madera o bitúmenes.

Focos de ignición en atmósferas sobreoxigenadas u oxígeno

Aunque cualquier foco tradicional, como llama desnuda, soldadura, chispas de máquinas eléctricas, partículas incandescentes, etc., puede ser el foco desencadenante, hay que destacar otros focos, que al no ser tan tangibles, no son tenidos muchas veces en cuenta:

- Compresión adiabática. Esta compresión, que tiene lugar sin intercambio de calor con el exterior, puede dar lugar a incendios y explosiones en conducciones de oxígeno, al elevar la temperatura. Se puede presentar en escapes de gas a través de orificios y en la apertura rápida de grifos y la subsiguiente compresión, como p. ej. en un manorreductor cerrado, válvula cerrada o soplete obturado.
- Fricción. Si el gas escapa a elevada velocidad, la fricción, y el consiguiente calentamiento que se puede producir en los puntos de salida, puede ser el desencadenante de la combustión, pudiéndose producir esta situación con la apertura rápida de grifos.
- Choques de partículas. Si el gas escapa a elevada velocidad, y en su camino encuentra partículas, de suciedad por ejemplo, éstas serán arrastradas a velocidades elevadas, pudiéndose producir la ignición, por desprendimiento de chispas al chocar entre sí, o bien por calentamiento debido a fricciones.
- Choque mecánico. La energía desprendida en un choque puede ser el origen de la ignición en materiales impregnados con oxígeno, como por ejemplo la madera.
- Electricidad estática, es el origen de muchos incendios en los que aparentemente no

ha habido un foco de ignición desencadenante.

- Uso de llamas desnudas, o equipos que puedan producir chispas en la proximidad de recipientes que contengan oxígeno líquido.

Medidas técnicas de prevención

Se indican a continuación una serie de medidas a tener en cuenta, con objeto de evitar la aparición de atmósferas sobreoxigenadas y el incendio de las mismas:

- Control de fugas. En instalaciones y equipos de nuevo montaje, y periódicamente en los mismos, se realizarán pruebas para determinar la posible existencia de fugas, así como que las canalizaciones mantienen las características resistentes adecuadas. Para determinar la existencia de fugas se empleará nitrógeno o aire a presión y se medirá la caída de presión durante un tiempo determinado.
- Si se tratase de puntos específicos, como por ejemplo bocas de botellas, se empleará para detectar posibles fugas, una solución jabonosa que al formar burbujas, delataría su existencia.

Jamás utilizar una llama para detectar una fuga.

- Conducciones de oxígeno. Cuando las conducciones deben de transcurrir por el interior de edificios, por ejemplo hospitales, se dispondrá una válvula de corte de suministro en el exterior del mismo. Esta válvula será bien visible, estará perfectamente identificada y tendrá fácil acceso para maniobra.

Cuando esas conducciones deban ser puestas fuera de uso y abandonarse, se separarán totalmente de la red y se obturarán.

Si las conducciones deben transcurrir enterradas, se tendrá en cuenta en su tendido, la distancia entre la superficie superior del tubo y la superficie del suelo, la cual será la adecuada para proteger la conducción de los esfuerzos mecánicos exteriores, debidos a la carga del terreno y la circulación rodada.

- En operaciones de soldadura oxiacetilénica se revisará antes de comenzar la operación, el estado de las mangueras, sustituyéndolas por otras cuando su estado así lo aconseje. Por otra parte, la unión de las mangueras a los racores y soplete, se efectuará con los elementos recomendados por el suministrador del gas, no empleando nunca alambres que pueden llegar a cortar la manguera al apretarlos.
- Ventilación adecuada. En aquellos locales donde se puedan producir atmósferas sobreoxigenadas, tales como estaciones de acondicionamiento de botellas, locales donde se manipulen o almacenen botellas, locales donde se utilice oxígeno, como por ejemplo en salas de oxigenoterapia, etc., la ventilación deberá ser la adecuada para que la concentración de oxígeno sea siempre inferior al 22%.

En el caso concreto de almacenes de botellas, y tal como establece la **Instrucción Técnica Complementaria MIE-APQ-5**, del **Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos**, se dispondrán de orificios de ventilación, convenientemente distribuidos en zonas altas y bajas, de modo que la superficie total de dichos orificios, no sea inferior a 1/18 de la superficie total del suelo del área de almacenamiento.

- Particular atención se prestará a puntos bajos, como fosos, sótanos, etc., en los que se suprimirá toda comunicación entre ellos y las zonas de utilización, almacenamiento y descarga de gas.
- Cuando el aislamiento previsto en el anterior apartado no pueda realizarse o para penetrar en recipientes que han contenido oxígeno, y en lugares cerrados o confinados, donde sea presumible la sobre oxigenación, se establecerá como obligatorio la existencia de un Permiso de Trabajo que contemple entre otras cosas, la desconexión previa de las conducciones del depósito, en su caso, una ventilación enérgica y posterior medición del contenido en oxígeno, volviéndose a repetir la operación de ventilado, hasta que la concentración de oxígeno esté comprendida entre el 20 y el 22%.

Así mismo, las personas que penetren en dichos espacios deberán llevar un analizador de oxígeno automático, de funcionamiento continuo, que advierta de cualquier variación local o temporal de la concentración de oxígeno.

- No se emplearán aceites o grasas hidrocarbonadas para lubricar equipos que trabajen con oxígeno. Para casos muy especiales, existe un número limitado de lubricantes que pueden ser utilizados, siendo el suministrador del gas, el que establezca el dictamen, antes de emplearlo.
- Se efectuará un mantenimiento adecuado, destacándose lo siguiente:
 - Los materiales y piezas de recambio utilizados tendrán las mismas características que los originales, atendiendo en todo caso a las recomendaciones del suministrador del gas.
 - No se repondrán juntas de racores de unión, fabricadas por uno mismo y de materiales que pueden ser incompatibles con el oxígeno. La sustitución de juntas por otras de aspecto similar es un peligro, ya que existen juntas tóricas y planas de aspecto similar, así como centenares de tipos de elastómeros de los que la mayor parte son incompatibles con el oxígeno.
 - Se mantendrán los equipos en buenas condiciones de limpieza, cerciorándose de ello, antes de su puesta en servicio. En particular, se prestará atención adecuada a equipos portátiles, como por ejemplo sopletes, en los que debido a sus características y uso, son mucho más susceptibles de que penetre en ellos la suciedad.
 - Cuando se trate de realizar trabajos de mantenimiento en las proximidades de equipos con servicio de oxígeno o en una zona donde se presume puede existir o formarse una sobreoxigenación, y dichos trabajos puedan producir puntos calientes, como son perforado, soldadura, amolado, etc., será obligatorio la existencia de un Permiso de Trabajo.
- Señalización adecuada de las zonas donde exista o pueda formarse una atmósfera sobreoxigenada.
- Ropas de trabajo. Existen numerosos tejidos supuestamente ininflamables que arden espontáneamente en atmósferas sobreoxigenadas. Así mismo las ropas ignifugadas pueden perder su propiedad con los sucesivos lavados.

De forma genérica, es bastante difícil evitar el incendio de una ropa de trabajo si se

ha impregnado de oxígeno, siendo en todo caso aconsejable el empleo de prendas de algodón, ya que en el caso de incendiarse, se apagan rápidamente, cuando se devuelven a atmósferas con tasa de oxígeno normal.

El empleo de ropas de material sintético no se permitirá, ya que en el caso de incendiarse, se funden, adhiriéndose a la piel y provocando graves quemaduras.

- Las ropas deberán ser relativamente ajustadas y podrán quitarse con facilidad. Se utilizarán ropas sin bolsillos ni vueltas en los pantalones, disponiendo además los trabajadores de calzado desengrasado y casco y visera específicos para oxígeno.
- Los suelos de los locales donde se maneje oxígeno serán de material no poroso y deberán en todo momento estar limpios de aceites y grasas.

Métodos de detección de oxígeno

- El método que se emplee deberá ser completamente fiable y de sensibilidad adecuada para proporcionar la alarma antes de que se alcancen niveles peligrosos. Hay que tener en cuenta que dichos instrumentos no son un elemento de protección sino dispositivos de aviso y deberán emitir una señal sonora o visual y su funcionamiento podrá ser intermitente o continuo, según se decida en la evaluación de riesgos. Se situarán en las proximidades del operario o colgados de su ropa, y se seguirán las instrucciones de uso indicadas por el fabricante.
- Se establecerá unos periodos de calibración y mantenimiento de los aparatos para asegurar su correcto funcionamiento, según indique el fabricante.
- Para detectar fugas en racores de botellas se podrá utilizar una solución de agua jabonosa, como se ha indicado anteriormente.
- Para la detección de oxígeno mezclado con otros componentes se podrán utilizar otros detectores como el detector de Orset, analizadores basados en el paramagnetismo de oxígeno, analizadores electroquímicos, etc.

Formación e información de los trabajadores

Toda persona que trabaje con oxígeno deberá ser formada e informada acerca de los riesgos que el mismo comporta y las medidas preventivas que ha de tener en cuenta. Así mismo deberá disponer de la ficha de datos de seguridad y las informaciones que entrega el suministrador del gas.

Todos los trabajos de mantenimiento y de reparación deberán ser ejecutados por personas experimentadas y con formación específica.

Las personas que trabajen en zonas en las que es posible una sobreoxigenación de la atmósfera recibirán las instrucciones apropiadas, debiendo resaltar la naturaleza insidiosa de dichos riesgos en relación a la rapidez de sus efectos.

Se señalará la importancia que tiene identificar las fuentes de sobreoxigenación y aislarlas.

Así mismo, deberán saber que si ha estado expuesto a una atmósfera sobreoxigenada, no deberá fumar, aproximarse a puntos calientes, emisores de chispas, etc., sin antes haber

ventilado adecuadamente su indumentaria, en una atmósfera de contenido normal de oxígeno, al menos durante 15 minutos. La operación deberá efectuarse con la ropa desabrochada y moviendo brazos y piernas.

Actuación en el caso de incendio por oxígeno

- La manera más efectiva de enfrentarse a un incendio en que esté presente el oxígeno, es eliminar la alimentación del mismo. Como medios auxiliares para su extinción, se empleará un elemento extintor acorde al tipo de fuego.
- Si una persona arde en presencia de una atmósfera sobreoxigenada, no podrá ser auxiliada penetrando en dicha zona, debido al riesgo de que la persona que penetre, empiece a su vez a arder espontáneamente. Se recomienda en ese caso rociarlo con el agua proveniente de una manguera o de cubos, situándose a una distancia de seguridad.
- Se dispondrá de duchas y baños de seguridad. Envolver el cuerpo de una persona que arde con mantas o elementos similares parece no dar buen resultado.

Compatibilidad de algunos materiales con el oxígeno

Como se indica en la **tabla número 2**, se muestra la incompatibilidad de determinados materiales metálicos y plásticos con el oxígeno.

Tabla 2

MATERIALES METÁLICOS		
MATERIAL	ESTADO OXÍGENO	COMPATIBILIDAD
ACERO ORDINARIO	LÍQUIDO	NO ACONSEJABLE
ACERO DÉBILMENTE ALEADO	LÍQUIDO	NO ACONSEJABLE
ALEACIÓN DE Ag DEBAJO PUNTO DE FUSIÓN	GAS / LÍQUIDO	NO ACONSEJABLE
ALEACIONES DE MAGNESIO	GAS / LÍQUIDO	NO ACONSEJABLE
ALEACIONES Pb 90%, Ag 10%	LÍQUIDO	NO ACONSEJABLE
ALEACIONES Pb 50%, ESTAÑO 50%	LÍQUIDO	NO ACONSEJABLE
ALEACIONES DE TITANIO	GAS / LÍQUIDO I	NO ACONSEJABLE
MATERIALES PLÁSTICOS		
MATERIAL		COMPATIBILIDAD
POLIURETANO		NO ACONSEJABLE
RESINA EPOXY		NO ACONSEJABLE
RESINAACRÍLICA		NO ACONSEJABLE
RESINA DE POLICARBONATO		NO ACONSEJABLE
POLYAMIDA		NO ACONSEJABLE
FILM DE POLIÉSTER		NO ACONSEJABLE
CLORURO DE POLIVINILO		NO ACONSEJABLE
POLIETILENO		NO ACONSEJABLE
CLOROPRENO		NO ACONSEJABLE

POLIESTIRENO	NO ACONSEJABLE
VINILO	NO ACONSEJABLE
SILICONAS	NO ACONSEJABLE
HYPALON	NO ACONSEJABLE

Bibliografía

1. Oxígeno y atmósferas sobreoxigenadas, (Air Liquide)
2. Seguridad en la utilización de gases, (Air Liquide)
3. Encyclopedie des gaz. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V./L'Air Liquide, 1976
4. RD 1244/1979 Reglamento de aparatos a presión, (B.O.E. 29/5/79), ITC MIE AP7 sobre botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión y sus modificaciones, (B.O.E. 12/11/82, 22/7/83, 13/4/85, 29/6/ 85, 16/7/87, 18/6/98, 22/6/00 y 14/11/00), e ITC MIE AP10 Depósitos criogénicos, (B.O.E. 18/11/83 y 20/6/87)
5. **RD 379/2001** Reglamento de almacenamiento de productos químicos, **Instrucción Técnica Complementaria MIE APQ-5** Almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión (BOE 10/5/2001)